УДК 621.397

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОУРОВНЕВЫХ МАРКОВСКИХ ПОЛЕЙ

В.Е. Лаевский

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: Viktor.E.Laevski@mail.ru

Рассматривается метод генерации одноуровневых марковских полей. Свойства порождаемого поля, выбор типа его составных элементов (алфавит) задаётся оператором. Предлагаемый алгоритм позволяет получать горизонтальные/вертикальные и диагональные типы мозаик.

Введение

При цифровом моделировании систем, предназначенных для обработки многомерных случайных полей (яркостные поля плоских изображений, температурные и другие поля атмосферы, океана и т. п.) [1], возникает необходимость машинной имитации тестовых сигналов в виде числовых полей с заданными спектральными и вероятностными свойствами. Сложность этих процессов такова, что их исследования аналитическими методами, позволяющими проникнуть в физику явлений, очень трудоёмки и не всегда могут быть доведены до конца. Экспериментальные исследования слишком дороги, ограничены в возможности проведения факторного анализа (повторение эксперимента в строго определённых условиях просто невозможно) и в конечном итоге основаны на субъективных оценках ряда специалистов. Путь имитационного моделирования является одним из приемлемых объективных путей решения поставленной задачи в определённой предметной области. Он позволяет проводить быструю проверку гипотез, упрощать выкладки, а при создании макетов и планировании экспериментов позволяет проводить детальный анализ полученных результатов. Проведение факторного анализа, повтора экспериментов, при использовании цифрового моделирования не вызывает больших затруднений.

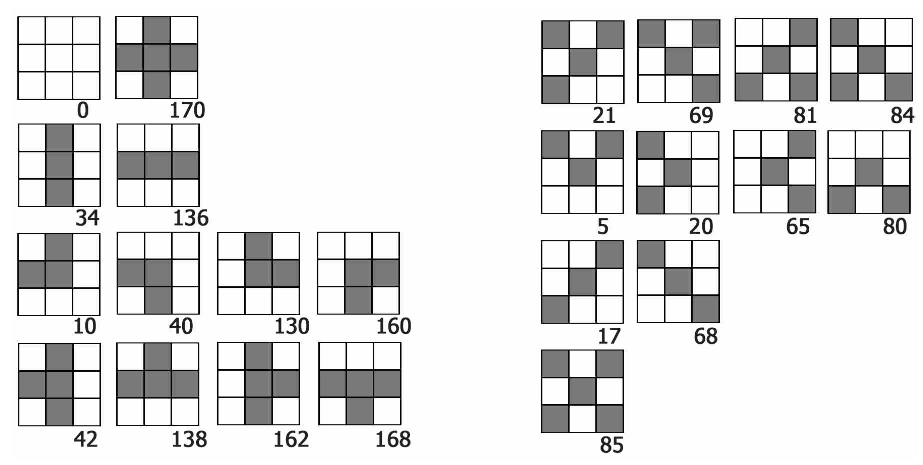


Рис. 1. *Элементы упрощенного алфавита*

Известно, что реальным оптическим изображениям соответствуют поля яркости, близкие к кусочно-постоянным функциям двух переменных, т.е. состоящие из областей, внутри которых яркость почти не меняется, и которые отделены друг от друга резкими границами-контурами [2]. При моделировании случайных полей применяют различные способы их имитации. Разбиение производится прямыми, геометрическими фигурами, с использованием фрактального разбиения (алгоритмы Серпинского), посредством объединения определённой общности точек на основе предиката однородности и т. д. Полученные области заполняют случайными постоянными яркостями. К основным недостаткам этих подходов можно отнести сложность управления свойствами получаемых полей. В частности, сложно выделить векторную составляющую контурного рисунка. Одним из возможных подходов к решению задачи получения тестовых изображений является использование алгоритмов, основанных на построении управляемого однородного марковского поля. Свойства порождаемого поля связаны между собой формулами Пальма [3, 4], а выбор типа его составных элементов (алфавита), а следовательно и типа решётки, производится оператором. Другими словами, основной особенностью подобного типа алгоритмов является возможность управления вероятностными и спектральными свойствами генерируемого поля (морфологией) [5, 6], получения векторного описания контурного рисунка, лежащего в его основе. Необходимо отметить, что прежние алгоритмы [5] не позволяли производить построение контурного рисунка с диагональными элементами. Этот факт затруднял использование алгоритмов генерации марковских полей в проведении факторного анализа определённых предметных областей. Например, при анализе детекторов контурных рисунков применение алгоритмов, описанных в работе [5], не позволяет выявить закономерности детектирования диагональных элементов.

Расширение алфавита, являющейся составной частью построения контурного рисунка, позволило произвести создание нового по своим возможностям алгоритма, который успешно решает задачу формирования марковского поля не только с горизонтальными/вертикальными но и с диагональными составляющими.

Описание алгоритма

Построение одноуровнего однородного марковского поля проводится с помощью ряда элементарных контурных элементов, называемых алфавитом построения. Полный алфавит состоит из 248 возможных элементов. Элементы выстраиваются в случайную последовательность на основе системы условных вероятностей. Изменение вероятностей появления того или иного элемента алфавита позволяет генерировать различные типы контурных решеток от простейшей прямоугольной решетки до весьма замысловатых орнаментов. Для простоты демонстрации работы алгоритма рассмотрим упрощённый алфавит, состоящий из 23 элементов, рис. 1.

Контурные элементы могут быть образованы лучами в восьми направлениях (a, b, c, d, e, f, g, h), исходящих от центра Z (рис. 2).

c	b	a
d	Z	h
e	f	g

Рис. 2. *Описание окрестности контурного элемента*

Величины a, b, c, d, e, f, g, h принимают значения «0» или «1» и означают отсутствие или наличие соответствующего контурного луча. Для упрощения описание литер алфавита, удобно присвоить каждому литеру десятичный код. Значение десятичного кода определяется по формуле:

$$N = a2^0 + b2^1 + c2^2 + d2^3 +$$
$$+e2^4 + f2^5 + g2^6 + h2^7.$$

Свойства контурного рисунка (мозаики) полностью определяются значениями финальных вероятностей при различных значениях a, b, c, d, e, f,

g, h. Для упрощения записи финальных вероятностей, бинарные значения a, b, c, d, e, f, g, h приведены ниже в десятичном виде.

$$P(0) = r_0;$$

$$P(34) = P(136) = \frac{r_1}{2};$$

$$P(10) = P(40) = P(130) = P(160) = \frac{r_2}{4};$$

$$P(42) = P(138) = P(162) = P(168) = \frac{r_3}{4};$$

$$P(170) = r_4;$$

$$P(21) = P(69) = P(81) = P(84) = \frac{r_5}{4};$$

$$P(5) = P(20) = P(65) = P(80) = \frac{r_6}{4};$$

$$P(17) = P(68) = \frac{r_7}{2};$$

$$P(85) = r_8;$$

$$\sum_{i=0}^{8} r_i = 1,$$

где r_0 – вероятность появления контурного элемента 0, r_1 – 34, 136, r_2 – 10, 40, 130, 160, r_3 – 42, 138, 162, 168, r_4 – 170, r_5 – 21, 69, 81, 84, r_6 – 5, 20, 65, 80, r_7 – 17, 68, r_8 – 85.

При построении контуров используется условные вероятности $P(fgh/abcde)$, полученные из формулы полной вероятности [7]

$$P(fgh/abcde) = \frac{P(abcdefgh)}{\sum_{f=0}^{1}\sum_{g=0}^{1}\sum_{k=0}^{1} P(abcdefgh)}.$$

Полученные значения $P(fgh/abcde)$ являются элементами стохастической матрицы условных вероятностей **P** размерностью 32×8.

Построение контурного рисунка начинается с создания опорных исходящих литер в первой строке и в первом столбце изображения. Левый верхний угол изображения считается началом отсчёта. Значение вектора ($abcde$) для этого элемента не определено, а следовательно выбор литеры при его построении производится произвольно с учётом финальных вероятностей. На рис. 3 выделены серым цветом опорные задающие элементы, начало отсчёта обозначено крестом, стрелками обозначена координатная система. Генерация первой строки и первого столбца проводится по методике [5] с учётом изотропности появления любого возможного контурного элемента. Вероятности появления контурных лучей p_a, p_b, p_c, p_d, p_e или вероятности их отсутствия q_a, q_b, q_c, q_d, q_e вычисляются по формулам:

$$q_a = q_c = q_e = r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \frac{r_5}{4} + \frac{2r_6}{4} + \frac{r_7}{2};$$

$$q_b = q_d = r_0 + \frac{r_1}{2} + \frac{2r_2}{4} + \frac{r_3}{4} + r_5 + r_6 + r_7 + r_8;$$

$$p_a = 1 - q_a,\ p_b = 1 - q_b,$$

$$p_c = 1 - q_c,\ p_d = 1 - q_d,\ p_e = 1 - q_e.$$

После создания первой опорной строки и первого опорного столбца, производится построчное (слева на право, сверху вниз) прохождение узлов сопряжения контурных элементов. Исходя из задающего, априорно известного бинарного вектора ($abcde$), определяется результирующий вектор (fgh). Эта процедура производится на основе условий, описанных в стохастической матрице условных ве-

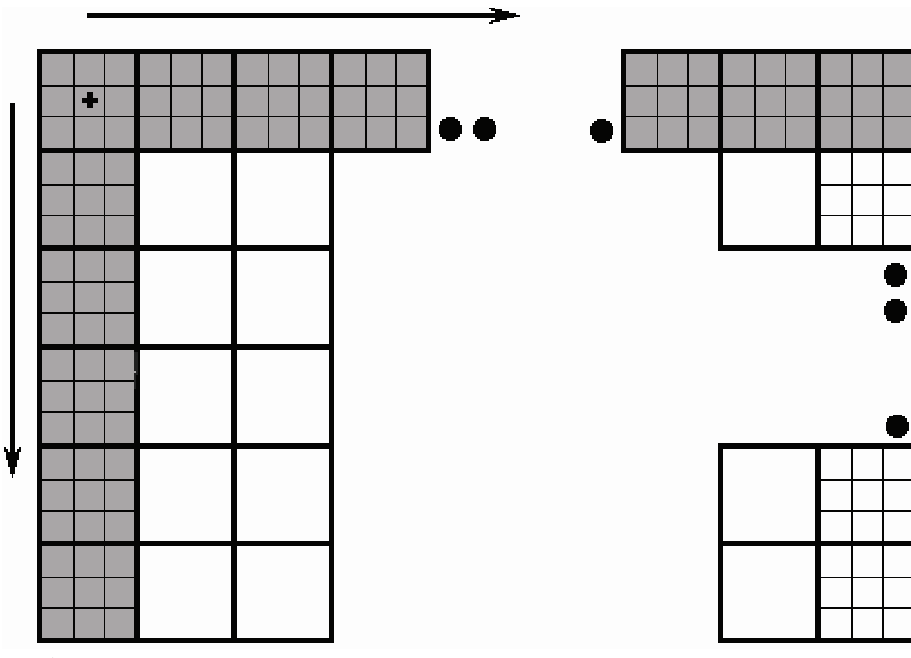


Рис. 3. Пример создания последовательности опорных элементов

роятностей. Заключающим этапом является занесение бинарной величины «*Z*», значение которой определено полным бинарным вектором (*abcdefgh*), в растр генерируемой мозаики. Рис. 4 поясняет геометрию проводимой генерации.

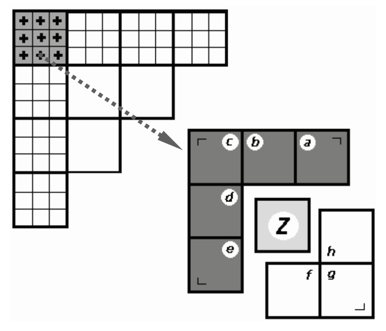


Рис. 4. *Прямоугольный фрагмент изображения*

Последующие итерации повторяются по вышеопределённой схеме с учётом сдвига прямоугольного фрагмента в окрестности исследуемой области на одну точку в необходимом направлении.

Достоинством предлагаемого алгоритма является возможность моделирования мозаичного изображения с расширенным типом контурного рисунка. Эта возможность была достигнута за счёт ввода дополнительных элементов алфавита (рис. 1). Расширение базового алфавита позволило получать диагональные составляющие контурного поля, что является существенным достоинством предлагаемого алгоритма по сравнению с алгоритмами, приведёнными в работах [5, 7]. Работоспособность алгоритма была проверена путем моделирования мозаик, полученных в работах [5–7]. Морфология контуров задавалась исключением одного или нескольких типов контурных элементов в соответствии с методикой предложенной в работе [5].

Тип *A* является простейшей прямоугольной решеткой, построенной на основе элементов {0, 170, 34, 136}, рис. 1. Тип *C* образуется непересекающимися прямоугольниками разных размеров на основе элементов {0, 34, 136, 42, 138, 162, 168}. Тип *D* представляет собой многосвязные замкнутые области с более мелкими вкраплениями на основе элементов {0, 34, 136, 0, 40 130, 160}. Мозаика *F* получена на основе элементов {0, 17, 68}.

Результаты моделирования

Для моделирования различных типов мозаик был создан комплекс программ генерации одноуровневого марковского поля, написанный на алгоритмическом языке С++ с использованием программной среды моделирования Cantata 2001. На рис. 5 приведены результаты моделирования кон-

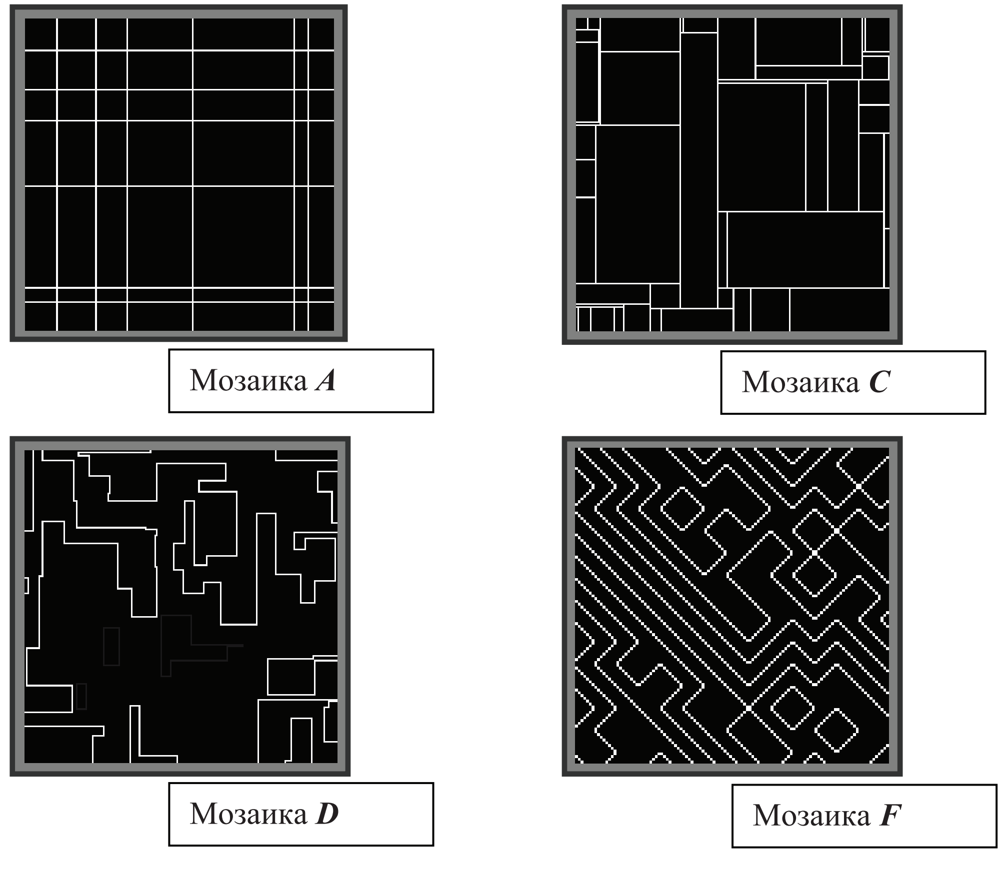


Рис. 5. *Разновидности мозаик*

турных полей типа *A*, *C*, ***D*** и *F*. Контурные рисунки построены размерностью 200×200. Изображения сохранялись в формате *.bmp. Заполнение независимыми яркостями произведено не было.

Как видно из рисунков предложенный алгоритм позволяет обобщить опыт работ [5–7], мозаики ***A***, ***C***, ***D***, а также получать однородное марковское поле не только с горизонтальными/вертикальными но и с диагональными составляющими контурного рисунка, мозаика ***F***.

Заключение

Рассмотренный алгоритм генерации одноуровневых марковских полей позволил получить мозаики с расширенным набором контурных элементов, генерировать структуру контурного рисунка не только с горизонтальными/вертикальными но и с диагональными составляющими. Комплекс программ генерации марковского поля внедрён и успешно используется на предприятии «RAUSCH Electronics», г. Lindau/Germany.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Г.Г., Флеминг П.Дж., Брейкин Т.В. и др. Марковские модели сложных динамических систем: идентификация, моделирование и контроль состояния. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1998. – 104 с.
2. Деньшиков К.К. Имитатор инфракрасных фонов облачного неба для исследования помехозащищенности оптико-электронных САР // Известия вузов. Приборостроение. – 1969. – № 10. – С. 38–42.
3. Буймов А.Г. К статистике пальмовских полей // Автометрия. – 1981. – № 6. – С. 13–18.
4. Буймов А.Г., Буймова Н.А. Статистический анализ корреляций в пальмовском поле // Автометрия. – 1981. – № 6. – С. 87–89.
5. Буймов А.Г., Ильин С.П. Мозаичное изображение с управляемой корреляцией // Автометрия. – 1987. – № 5. – С. 30–35.
6. Ильин С.П. Моделирование оптических изображений земной поверхности в задачах корреляционно-экстремального управления. Дис. ... к.т.н. – Томск: ТИАСУР, 1989. – 173 с.
7. Сергеев В.В., Сойфер В.А. Имитационная модель изображения и метод сжатия данных. Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований. – М.: Наука, 1978. – С. 76–78.